ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА

Том 154 1967

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ УГЛА УСТАНОВКИ КЛИНА ПРИ ОТКЛОНЕНИИ СКВАЖИНЫ ОТ ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ

Г. Л. КАЛИНИЧЕНКО, С. С. СУЛАКШИН

(Представлена кафедрой инженерной и вычислительной математики)

При расчете угла установки клина в скважине с целью изменения ее азимута α обычно исходят из допущения, что азимутальный поворот клина $\Delta\alpha = \angle XOC$ равен приближенно $\angle KOC'$ на рис. 1 (см. [1, 2, 3]).

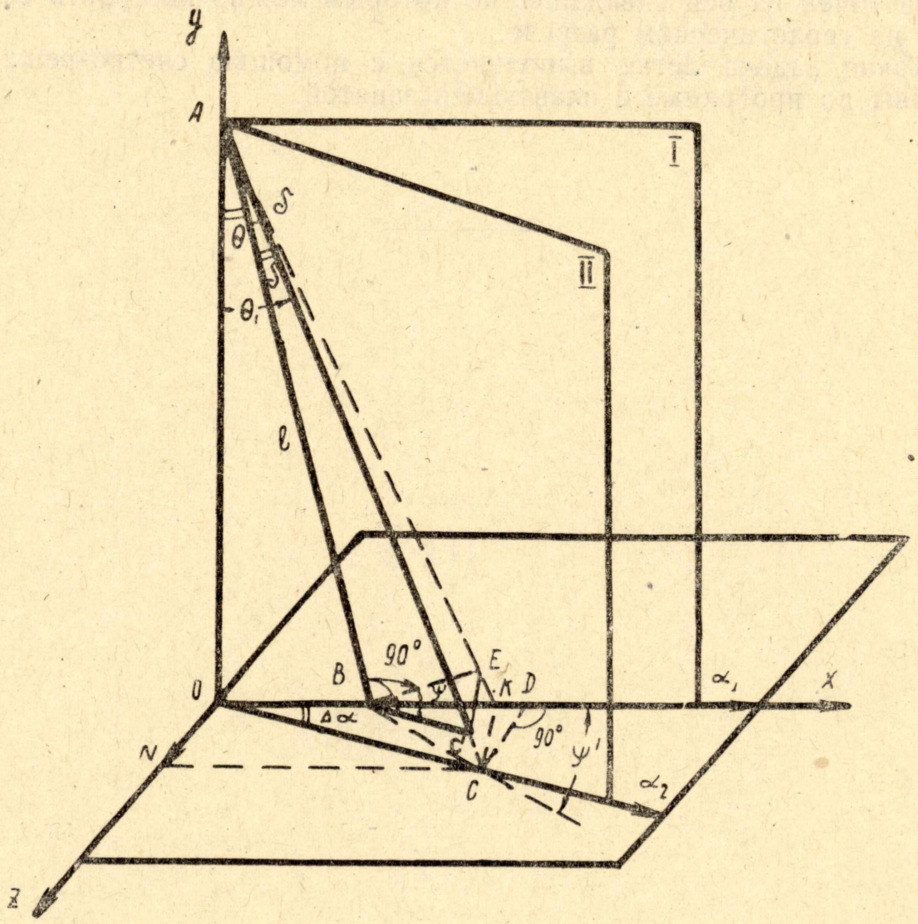

Рис. 1.

Это допущение вносит определенную ошибку в полученные результаты. Поэтому выведем все необходимые для указанного расчета формулы без всяких упрощений.

Рассмотрим клин в декартовой системе координат XYZ (рис. 1). Угол поворота клина ψ', лежащий в плоскости ZOX, определим как угол между осью OX и вектором $\overline{BC}$. Для этого нам нужно знать прежде всего координаты вектора $\overline{BC}(x, y, z)$ или координаты точек B и C. Из чертежа видно, что точка B определяется координатами $B(l\sin\Theta;\ l\cos\Theta;\ 0)$. Точку C определим координатами $C(x_C, y_C, z_C)$, где $x_C = OD$; $y_C = 0$; $z_C = CD$. Из чертежа кроме того находим, что

$$z_C = x_C \operatorname{tg} \Delta\alpha. \tag{1}$$

Поэтому координаты x, y, z вектора $\overline{BC}$ будут равны:

$$x = x_C - l\sin\Theta;\quad y = 0;\quad z = z_C = x_C \operatorname{tg}\Delta\alpha. \tag{2}$$

Отсюда находим далее по чертежу, что векторы $\overline{AB}$ и $\overline{AC}$ определяются координатами

$$\begin{aligned} &\overline{AB}(l\sin\Theta;\ -l\cos\Theta;\ 0), \\ &\overline{AC}(x_C;\ -l\cos\Theta;\ x_C\operatorname{tg}\Delta\alpha). \end{aligned} \tag{3}$$

Координаты вектора $\overline{BC}$ получены через неизвестную абсциссу x_C точки C, которую найдем из формулы угла между векторами $\overline{AB}$ и $\overline{AC}$, так как рассматриваемый угол есть угол скоса клина (величина конструктивная). Имеем

$$\cos(\overline{AB},\wedge\overline{AC}) = \cos\delta =$$

$$= \frac{l\sin\Theta\cdot x_C + l^2\cos^2\Theta}{\sqrt{l^2\sin^2\Theta + l^2\cos^2\Theta}\cdot\sqrt{x_C^2 + l^2\cos^2\Theta + x_C^2\operatorname{tg}^2\Delta\alpha}},$$

откуда

$$\cos\delta = \frac{x_C\sin\Theta + l\cos^2\Theta}{\sqrt{x_C^2 + l^2\cos^2\Theta + x_C^2\operatorname{tg}^2\Delta\alpha}}. \tag{4}$$

Из этой формулы находим координату x_C при заданных δ, Θ и $\Delta\alpha$. После соответствующих преобразований получим:

$$x_{C_{1,2}} = \frac{l\cos\alpha}{a}\left[\sin\Theta\cos\Theta \pm \sqrt{\sin^2\Theta\cos^2\Theta - a(\cos^2\delta - \cos^2\Theta)}\right], \tag{5}$$

где

$$a = \cos^2\delta\sec^2\Delta\alpha - \sin^2\Theta. \tag{6}$$

Действительные корни для x_C будут при условии

$$\sin^2\Theta\cos^2\Theta - a(\cos^2\delta - \cos^2\Theta) \geqslant 0$$

или

$$a \leqslant \frac{\sin^2\Theta\cdot\cos^2\Theta}{\cos^2\delta - \cos^2\Theta}. \tag{7}$$

В случае равенства мы получаем условие, когда оба корня будут равны и угол ψ' будет наибольшим. При заданных Θ и δ находим $\Delta\alpha$, при котором ψ' будет наибольшим:

$$\sec^2\Delta\alpha = \frac{\sin^2\Theta\cdot\cos^2\Theta}{(\cos^2\delta - \cos^2\Theta)\cdot\cos^2\delta} + \frac{\sin^2\Theta}{\cos^2\delta}. \tag{8}$$

После того как мы найдем x_C, можно определить ψ' по формуле

$$\psi' = \arccos\frac{x_C - l\sin\Theta}{\sqrt{(x_C - l\sin\Theta)^2 + x_C^2\operatorname{tg}^2\Delta\alpha}}. \tag{9}$$

Зенитный угол Θ' отклоненного ствола найдется из формулы угла между вектором $\overline{AC}$ и осью Oy

$$\Theta' = \arccos\left[\frac{l\cos\Theta}{\sqrt{x^2\sec^2\Delta\alpha + l^2\cos^2\Theta}}\right]. \qquad (10)$$

Так как формула (5) дает для x два значения, то и формулы (9), (10) также будут давать два значения углов ψ' и Θ'. Заметим, что в [1], [2], [3] о вторых значениях этих углов вообще не упоминается.

Все вычисления по приведенным формулам запрограммированы и на ЭВЦМ Минск-1 составлены таблицы при $\delta = 2°$, $\delta = 3°$ и $\delta = 4°$ и при $l = 2, 3, 4$ метрам для $\Delta\alpha$, начиная с $\Delta\alpha = \delta$ и до $\Delta\alpha_{max}$, с интервалом в 1 градус, и для Θ, начиная с $\Theta = 2\delta$ до возможного, с интервалом 2°; дополнительно также найдены максимальные значения угла ψ' при $\delta = 3$ и $l = 3$.

Сравнивая вычисления, произведенные Курмашевым [1] по формуле

$$\sin(\psi' - \Delta\alpha) = \frac{\sin\Theta\sin\Delta\alpha}{\operatorname{tg}\beta},$$

с вычислениями по формуле (9), видим, что ошибка в определении угла ψ' достигает 4 градусов и выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Курмашев. Прибор для расчета отклонения в наклонной скважине. Информационный сборник Министерства геологии и охраны недр СССР, № 27, 1961.

2. А. Г. Калинин и др. Ориентирование отклоняющих систем в скважинах. Москва, 1963.

3. А. Г. Калинин. Искривления буровых скважин. Москва, 1963.